



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt



(10) DE 102 52 399 A1 2004.06.03

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 52 399.1

(51) Int Cl. 7: F02D 45/00

(22) Anmeldetag: 12.11.2002

F02D 41/06

(43) Offenlegungstag: 03.06.2004

(71) Anmelder:

MTU Friedrichshafen GmbH, 88045
Friedrichshafen, DE

(72) Erfinder:

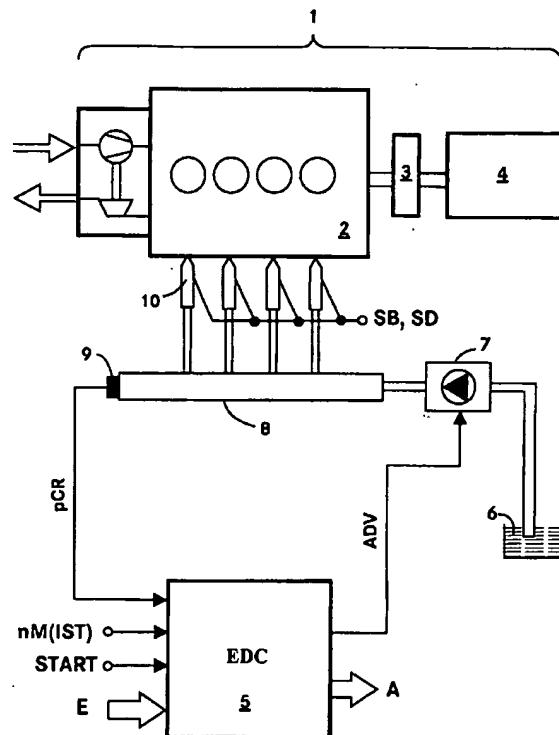
Dölker, Armin, Dipl.-Ing., 88090 Immenstaad, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit

(57) Zusammenfassung: Für eine Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit (1) wird während eines Startvorgangs eine Ist-Hochlauframpe gemessen. Anschließend wird die Ist-Hochlauframpe als Soll-Hochlauframpe gesetzt. Hierdurch passt sich die Regelung der Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit (1) an die Vorort-Gegebenheiten an.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Eine als Generatorantrieb vorgesehene Brennkraftmaschine wird vom Hersteller üblicherweise an den Endkunden ohne Kupplung und Generator ausgeliefert. Die Kupplung und der Generator werden erst beim Endkunden montiert. Um eine konstante Nennfrequenz zur Strom-Einspeisung in das Netz zu gewährleisten, wird die Brennkraftmaschine in einem Drehzahl-Regelkreis betrieben. Hierbei wird die Drehzahl der Kurbelwelle als Regelgröße erfasst und mit einer Soll-Drehzahl, der Führungsgröße, verglichen. Die daraus resultierende Regelabweichung wird über einen Drehzahl-Regler in eine Stellgröße für die Brennkraftmaschine, beispielsweise eine Soll-Einspritzmenge, gewandelt.

[0003] Da dem Hersteller vor Auslieferung der Brennkraftmaschine oft keine gesicherten Daten über die Kupplungseigenschaften und das Generator-Trägheitsmoment vorliegen, wird das elektronische Steuergerät mit einem robusten Regler-Parametersatz, dem sogenannten Standardparametersatz, ausgeliefert.

[0004] In diesem Standardparametersatz ist für den Startvorgang eine Drehzahl-Hochlauframpe bzw. eine Hochlauframpengeschwindigkeit abgelegt. Um einen möglichst raschen Hochlauf zu ermöglichen, wird dieser Parameter auf einen großen Wert eingestellt, z. B. 550 Umdrehungen/(Minute mal Sekunde). Der zuvor beschriebene Drehzahl-Regelkreis und eine Drehzahl-Hochlauframpe sind beispielsweise aus der DE 101 22 517 C1 der Anmelderin bekannt.

[0005] Bei einem Generator mit einem großen Trägheitsmoment kann sich eine große Abweichung zwischen der Soll-Hochlauframpe und der Ist-Hochlauframpe ergeben. Diese Regelabweichung der Ist-Drehzahl zur Soll-Drehzahl bewirkt einen signifikanten Anstieg der Soll-Einspritzmenge. Bei einer Diesel-Brennkraftmaschine mit einem Common-Rail-Einspritzsystem begünstigt der signifikante Anstieg der Soll-Einspritzmenge die Schwarzrauchbildung. Der signifikante Anstieg der Soll-Einspritzmenge bewirkt zusätzlich eine nicht korrekte Berechnung des Einspritzbeginns und des Soll-Raildrucks, da beide Größen aus der Soll-Einspritzmenge errechnet werden.

[0006] Für den Hersteller der Brennkraftmaschine bedeutet die zuvor geschilderte Problematik, dass bei einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit mit einem großen Trägheitsmoment ein Servicetechniker vor Ort die Regelparameter des Standardparametersatzes an die Gegebenheiten anpassen muss. Dies ist zeitaufwendig und teuer.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde den Abstimmungsaufwand einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit für den Startvorgang zu reduzieren.

[0008] Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Die Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen dargestellt.

[0009] Die Erfindung sieht vor, dass aus der Ist-Drehzahl der Brennkraftmaschine eine Ist-Hochlauframpe bestimmt wird und die Soll-Hochlauframpe auf diese Ist-Hochlauframpe gesetzt wird.

[0010] Über diese Adaption der Soll-Hochlauframpe wird ein lernendes System abgebildet, welches sich selber an die Vorort-Gegebenheiten anpasst. Hierdurch entfallen weitere Abstimmungen des Standardparametersatzes. Eine signifikante Änderung der Soll-Einspritzmenge wird hierdurch ebenfalls unterdrückt. Daher erreicht die Soll-Einspritzmenge schneller den stationär vorgegebenen Wert. Als Konsequenz ergibt sich für den Hochlauf, dass der berechnete Einspritzbeginn und der Soll-Raildruck mit den stationär ermittelten Werten besser übereinstimmen, d. h. es handelt sich somit um gesicherte Werte. Diese stationären Werte werden vom Hersteller in Prüfstandsversuchen ermittelt und im Standardparametersatz abgelegt.

[0011] Zur Berechnung der Ist-Hochlauframpe wird die Drehzahl-Veränderung der Ist-Drehzahl innerhalb eines zugeordneten Zeitintervalls beobachtet. Die Ist-Hochlauframpe kann dann beispielsweise über Mittelwertbildung berechnet werden.

[0012] Zur Verbesserung der Betriebssicherheit sind für die Adaption der Soll-Hochlauframpe erfolgt folglich nur dann, wenn diese innerhalb der Grenzwerte liegt.

[0013] In den Zeichnungen ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt. Es zeigen:

[0014] Fig. 1 ein Systemschaubild;

[0015] Fig. 2 ein Blockschaltbild;

[0016] Fig. 3A, B, C ein Zeitdiagramm eines Startvorgangs;

[0017] Fig. 4 eine Kennlinie;

[0018] Fig. 5 einen Programmablaufplan.

[0019] Die Fig. 1 zeigt ein Systemschaubild des Gesamtsystems einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit 1. Diese bestehend aus einer Brennkraftmaschine 2 mit einem Generator 4. Die Brennkraftmaschine 2 treibt über eine Welle mit einem Übertragungsglied 3 den Generator 4 an. In der Praxis kann das Übertragungsglied 3 eine Kupplung enthalten. Bei der dargestellten Brennkraftmaschine 2 wird der Kraftstoff über ein Common-Rail-System eingespritzt. Dieses umfasst folgende Komponenten: Pumpen 7 mit Saugdrossel zur Förderung des Kraftstoffs aus einem Kraftstofftank 6, ein Rail 8 zum Speichern des Kraftstoffs und Injektoren 10 zum Einspritzen des Kraftstoffs aus dem Rail 8 in die Brennräume der Brennkraftmaschine 2.

[0020] Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 2 wird durch ein elektronisches Steuergerät (EDC) 5 geregelt. Das elektronische Steuergerät 5 beinhaltet die üblichen Bestandteile eines Mikrocomputersystems, beispielsweise einen Mikroprozessor, I/O-Bau-

steine, Puffer und Speicherbausteine (EEPROM, RAM). In den Speicherbausteinen sind die für den Betrieb der Brennkraftmaschine 2 relevanten Betriebsdaten in Kennfeldern/Kennlinien appliziert. Über diese berechnet das elektronische Steuergerät 5 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. In **Fig. 1** sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: ein Raildruck pCR, der mittels eines Rail-Drucksensors 9 gemessen wird, ein Ist-Drehzahl-Signal nM(IST) der Brennkraftmaschine 2, eine Eingangsgröße E und ein Signal START zur Start-Vorgabe. Die Start-Vorgabe wird durch den Betreiber aktiviert. Unter der Eingangsgröße E sind beispielsweise der Ladeluftdruck eines Turboladers und die Temperaturen der Kühl-/Schmiermittel und des Kraftstoffs subsumiert.

[0021] In **Fig. 1** sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 5 ein Signal ADV zur Steuerung der Pumpen 7 mit Saugdrossel und eine Ausgangsgröße A dargestellt. Über das Signal ADV wird der Soll-Raildruck pCR(SW) bestimmt. Die Ausgangsgröße A steht stellvertretend für die weiteren Stellsignale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 2, beispielsweise den Einspritzbeginn SB und die Einspritzdauer SD.

[0022] In **Fig. 2** ist ein Blockschaltbild zur Berechnung des Einspritzbeginns SB, des Soll-Raildrucks pCR(SW) und der Einspritzdauer SD dargestellt. Aus der Ist-Drehzahl nM(IST) der Brennkraftmaschine und der Soll-Drehzahl nM(SW) berechnet ein Drehzahl-Regler 11 eine Soll-Einspritzmenge QSW1. Diese wird über eine Begrenzung 12 auf einen maximalen Wert begrenzt. Die Ausgangsgröße, entsprechend der Soll-Einspritzmenge QSW, stellt die Eingangsgröße der Kennfelder 13 bis 15 dar. Über das Kennfeld 13 wird in Abhängigkeit der Soll-Einspritzmenge QSW und der Ist-Drehzahl nM(IST) der Einspritzbeginn SB berechnet. Über das Kennfeld 14 wird in Abhängigkeit der Soll-Einspritzmenge QSW und der Ist-Drehzahl nM(IST) der Soll-Raildruck pCR(SW) berechnet. Über das Kennfeld 15 wird in Abhängigkeit der Soll-Einspritzmenge QSW und des Raildrucks pCR die Einspritzdauer SD bestimmt.

[0023] Aus dem Blockschaltbild wird deutlich, dass eine große Regelabweichung zu einem signifikanten Anstieg der Soll-Einspritzmenge QSW1 führt. Dieser signifikante Anstieg wird durch die Begrenzung 12 auf einen maximalen Wert begrenzt. Dieser maximale Wert der Soll-Einspritzmenge bewirkt wiederum, dass ein falscher Einspritzbeginn SB und ein falscher Soll-Raildruck, der Einspritzdruck, berechnet werden.

[0024] Die **Fig. 3** besteht aus den Teilfiguren 3A bis 3C. Diese zeigen jeweils über der Zeit: einen Drehzahl-Verlauf der Soll- und Ist-Drehzahl im Ausgangszustand (**Fig. 3A**), einen Soll- und Ist-Drehzahlverlauf nach der Adaption (**Fig. 3B**) und einen Verlauf der Soll-Einspritzmenge QSW (**Fig. 3C**). In **Fig. 3C** entspricht der Soll-Einspritzverlauf mit der durchgezogenen Linie, entsprechend dem Kurvenzug mit den Punkten A bis D, dem Ausgangszustand. Die strichpunktieren Linie, entsprechend dem Kurvenzug mit den Punkten A, E und D, zeigt einen Verlauf nach der Adaption.

[0025] Zunächst wird der Ablauf des Verfahrens im Ausgangszustand erläutert. Im Ausgangszustand wird die Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit entsprechend dem Standardparametersatz betrieben. Im Folgenden wird von einem Generator mit einem großen Trägheitsmoment ausgegangen. Zum Zeitpunkt Null wird der Start initiiert. Die Soll-Drehzahl nM(SW) wird auf einen ersten Wert nST gesetzt, beispielsweise 650 Umdrehungen/Minute. Über den Drehzahl-Regler wird eine Soll-Einspritzmenge QSW, Wert QST, vorgegeben. Bis zum Zeitpunkt t1 nähert sich die Ist-Drehzahl nM(IST) der Soll-Drehzahl nM(SW) an, siehe **Fig. 3A**. Ab dem Zeitpunkt t1 bis zum Zeitpunkt t2 wird eine Soll-Hochlauframpe HLR(SW) durch das elektronische Steuergerät vorgegeben. Ein typischer Wert für die Steigung der Soll-Hochlauframpe ist 550 Umdrehungen/(Minute mal Sekunde). Aufgrund des großen Trägheitsmoments des Generators folgt die Ist-Drehzahl nM(IST) nicht der Soll-Hochlauframpe HLR(SW). Aus dieser Regelabweichung berechnet der Drehzahl-Regler eine höhere Soll-Einspritzmenge QSW, d. h. der Verlauf der Soll-Einspritzmenge QSW in **Fig. 3C** ändert sich von Punkt A in Richtung des Punkts B. Die zunehmende Regelabweichung bewirkt eine signifikante Zunahme der Soll-Einspritzmenge QSW. Diese Soll-Einspritzmenge wird über eine Begrenzung auf einen maximalen Wert festgesetzt. In **Fig. 3C** ist diese Begrenzung als eine zur Abszisse parallel verlaufende strichzweipunktierte Linie dargestellt. Der maximale Wert ist hier als QDBR bezeichnet. Die Soll-Einspritzmenge QSW wird folglich im Punkt B auf den Wert QDBR begrenzt.

[0026] Zum Zeitpunkt t3 erreicht die Ist-Drehzahl nM(IST) eine Leerlauf-Drehzahl, beispielsweise 1500 Umdrehungen/Minute. Dieser Drehzahlwert ist in **Fig. 3A** als nLL bezeichnet. Die Ist-Drehzahl nM(IST) schwingt im Folgenden über die Leerlauf-Drehzahl nLL hinaus und pendelt sich schließlich auf diesem Niveau ein. Da nunmehr eine Regelabweichung von nahezu Null vorliegt, berechnet der Drehzahl-Regler einen stationären Wert der Soll-Einspritzmenge. Diese ist in **Fig. 3C** mit dem Wert QLL dargestellt. Im Zeitraum t3 bis t4 fällt folglich die Soll-Einspritzmenge QSW vom Begrenzungswert des Punkts C auf den stationären Wert des Punkts D.

[0027] Die Erfindung sieht nun vor, dass aus der Ist-Drehzahl nM(IST) die Ist-Hochlauframpe HLR(IST) bestimmt wird. Hierzu werden die Drehzahl-Veränderungen der Ist-Drehzahl nM(IST) innerhalb eines zugeordneten Zeitintervalls beobachtet. In **Fig. 3A** sind exemplarisch zwei Wertepaare dargestellt. Ein erstes Wertepaar besteht aus dem Zeitintervall dt(1) und der Drehzahl-Veränderung dn(1). Das zweite Wertepaar besteht aus dem Zeitintervall dt(i) und der Drehzahl-Veränderung dn(i). Die

Ist-Hochlauframpe lässt sich beispielsweise über Mitwertbildung aus diesen Wertpaaren berechnen:

$$HLR(IST) = \text{SUM}(dn(i))/\text{SUM}(dt(i))$$

mit

HLR(IST) Ist-Hochlaufpumpe

SUM Summe im beobachteten Intervall (i = 1 bis i = n)

dn(i) Drehzahlveränderung

dt(i) Zeitintervall

[0028] Nachdem die Ist-Hochlauframpe HLR(IST) berechnet wurde, wird die Soll-Hochlauframpe HLR(SW) auf die Werte der Ist-Hochlauframpe HLR(IST) gesetzt.

[0029] Die Fig. 3B zeigt die adaptierte Soll-Hochlauframpe HLR(SW) der Fig. 3A. Wie ersichtlich wird, wurde die Soll-Hochlauframpe derart adaptiert, dass die Soll-Drehzahl nM(SW) und die Ist-Drehzahl nM(IST) während des Zeitraums t1 bis t3 nahezu identisch sind. Für die Berechnung der Soll-Einspritzmenge QSW bedeutet dies, dass ab dem Zeitpunkt t1 diese entsprechend der strichpunktierter Linie, also dem Kurvenzug mit den Punkten A, E und D, auf den stationären Wert, hier QLL, geführt wird.

[0030] Nach Adaption der Soll-Hochlauframpe HLR(SW) ergibt sich damit beim Motorstart eine geringere Soll-Einspritzmenge QSW, was zur Vermeidung von Schwarzrauchbildung führt. Gleichzeitig werden nun die Kennfelder nach Fig. 2 mit dieser geringeren Soll-Einspritzmenge QDW berechnet. Dies führt zu günstigeren Betriebswerten. Dadurch wird das Beschleunigungsvermögen des Motors verbessert. Auf Grund dieser Verbesserung kann in der Praxis die Soll-Hochlauframpe HLR(SW) durch eine größere als aus dem Ist-Drehzahl-Verlauf ermittelte Hochlauframpe HLR(IST) gesetzt werden. Es gilt folglich:

$$HLR(SW) = (\text{SUM}(dn(i))/(\text{SUM}(dt(i)) + K)$$

HLR(IST) Soll-Hochlaufpumpe

SUM Summe im beobachteten Intervall (i = 1 bis i = n)

dn(i) Drehzahlveränderung

dt(i) Zeitintervall

K Konstanten (K > 0)

[0031] In Fig. 4 ist ein Kennfeld dargestellt. Dieses zeigt mehrere Soll-Hochlauframpen über der Zeit. Mit dem Bezugssymbol HLR1 ist die Soll-Hochlauframpe im Ausgangszustand dargestellt, wie diese im Standardparametersatz bei Auslieferung der Brennkraftmaschine abgebildet ist. Die Soll-Hochlauframpe HLR1 wird gemäß der Erfindung in Abhängigkeit der aus der Ist-Drehzahl nM(IST) berechneten Ist-Hochlauframpe adaptiert. In Fig. 4 sind exemplarisch zwei weitere Hochlauframpen HLR2 und HLR3 dargestellt. Die Soll-Hochlauframpe HLR3 wird sich bei einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit mit einem großen Trägheitsmoment einstellen. Die Soll-Hochlauframpe HLR2 wird sich bei einer Brenn-

kraftmaschinen-Generator-Einheit mit einem sehr kleinen Trägheitsmoment einstellen. Zur Fehlerabsicherung des Gesamtsystems sind zusätzlich ein erster Grenzwert GW1 und ein zweiter Grenzwert GW2 dargestellt. Die Adaption der Soll-Hochlauframpe erfolgt folglich nur dann, wenn die neue Soll-Hochlauframpe innerhalb eines Toleranzbandes TB liegt, wobei das Toleranzband TB durch den ersten Grenzwert GW1 und zweiten Grenzwert GW2 definiert wird.

[0032] In Fig. 5 ist ein Programmablaufplan dargestellt. Bei S1 wird die Soll-Hochlauframpe HLR(SW) eingelesen. Danach wird bei S2 geprüft, ob die Ist-Drehzahl nM(IST) größer der Start-Drehzahl nST ist, beispielsweise 650 Umdrehungen/Minute. Ist dies nicht der Fall, so wird bei S3 eine Warteschleife durchlaufen. Ist die Abfrage bei S2 positiv, so wird bei S4 aus dem Verlauf der Ist-Drehzahl nM(IST) die Ist-Hochlauframpe HLR(IST) bestimmt. Bei S5 wird sodann geprüft, ob die Ist-Drehzahl nM(IST) eine Leerlauf-Drehzahl nLL erreicht hat, beispielsweise 1500 Umdrehungen/Minute. Ist die Leerlauf-Drehzahl nLL noch nicht erreicht, so verzweigt der Programmablaufplan zurück zum Schritt S4.

[0033] Wenn die Ist-Drehzahl nM(IST) die Leerlauf-Drehzahl nLL erreicht hat, wird bei S6 geprüft, ob die ermittelte Ist-Hochlauframpe HLR(IST) innerhalb des Toleranzbandes TB liegt. Ist dies der Fall, so wird die Soll-Hochlauframpe HLR(SW) bei S7 auf die Werte der Ist-Hochlauframpe HLR(IST) gesetzt. Alternativ kann vorgesehen sein, dass die Soll-Hochlauframpe HLR(SW) auf die Summe von Ist-Hochlauframpe HLR(IST) und einer Konstanten gesetzt wird. Anschließend wird zum Programmpunkt A verzweigt.

[0034] Liegt die gemessene Ist-Hochlauframpe HLR(IST) außerhalb des Toleranzbandes TB, so wird bei S8 ein Fehlermodus FM gesetzt und zum Programmpunkt A verzweigt.

Bezugszeichenliste

- 1 Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit
- 2 Brennkraftmaschine
- 3 Übertragungsglied
- 4 Generator
- 5 Elektronisches Steuergerät (EDC)
- 6 Kraftstofftank
- 7 Pumpen
- 8 Rail
- 9 Rail-Drucksensor
- 10 Injektoren
- 11 Drehzahl-Regler
- 12 Begrenzung
- 13 Kennfeld zur Berechnung des Einspritzbeginns
- 14 Kennfeld zur Berechnung des Einspritzdrucks
- 15 Kennfeld zur Berechnung der Einspritzdauer

Patentansprüche

1. Verfahren zur Drehzahl-Regelung einer Brennkraftmaschinen-Generator-Einheit (1) während eines Startvorgangs, bei dem eine Soll-Drehzahl ($nM(SW)$) über eine Soll-Hochlauframpe (HLR(SW)) vorgegeben wird, aus der Soll-Drehzahl ($nM(SW)$) und einer Ist-Drehzahl ($nM(IST)$) eine Regelabweichung berechnet wird und aus der Regelabweichung mittels eines Drehzahl-Reglers (11) eine Soll-Einspritzmenge (QSW) zur Regelung der Ist-Drehzahl ($nM(IST)$) bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Ist-Drehzahl ($nM(IST)$) eine Ist-Hochlauframpe (HLR(IST)) bestimmt wird ($HLR(IST) = f(nM(IST))$) und diese als Soll-Hochlauframpe (HLR(SW)) gesetzt wird.

2. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Hochlauframpe (HLR(IST)) aus einer Drehzahl-Veränderung ($dn(i)$, $i = 1, \dots, n$) der Ist-Drehzahl ($nM(IST)$) innerhalb eines zugeordneten Zeitintervalls ($dt(i)$) bestimmt wird.

3. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Hochlauframpe (HLR(IST)) über Mittelwertbildung aus der Drehzahl-Veränderung ($dn(i)$) während des Zeitintervalls ($dt(i)$) berechnet wird.

4. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Hochlauframpe (HLR(IST)) und eine Konstante (K) addiert werden ($HLR(IST) = HLR(IST) + K$).

5. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass geprüft wird, ob die Ist-Hochlauframpe (HLR(IST)) innerhalb eines Toleranzbandes (TB) liegt.

6. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Fehlermodus (FM) gesetzt wird, wenn die Ist-Hochlauframpe (HLR(IST)) außerhalb des Toleranzbandes (TB) liegt.

7. Verfahren zur Drehzahl-Regelung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Hochlauframpe (HLR(IST)) als Soll-Hochlauframpe (HLR(SW)) zumindest mit Erreichen einer Leerlauf-Drehzahl nLL gesetzt wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

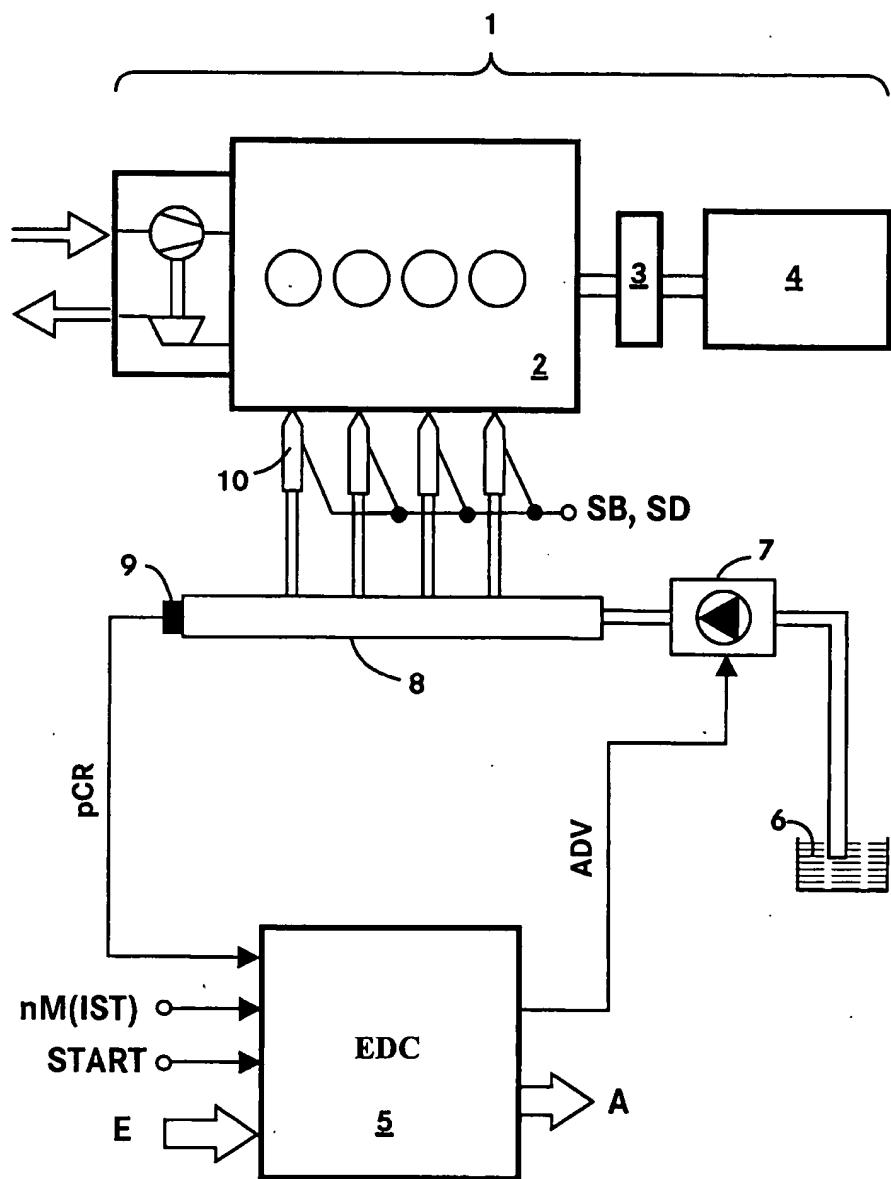


Fig. 1

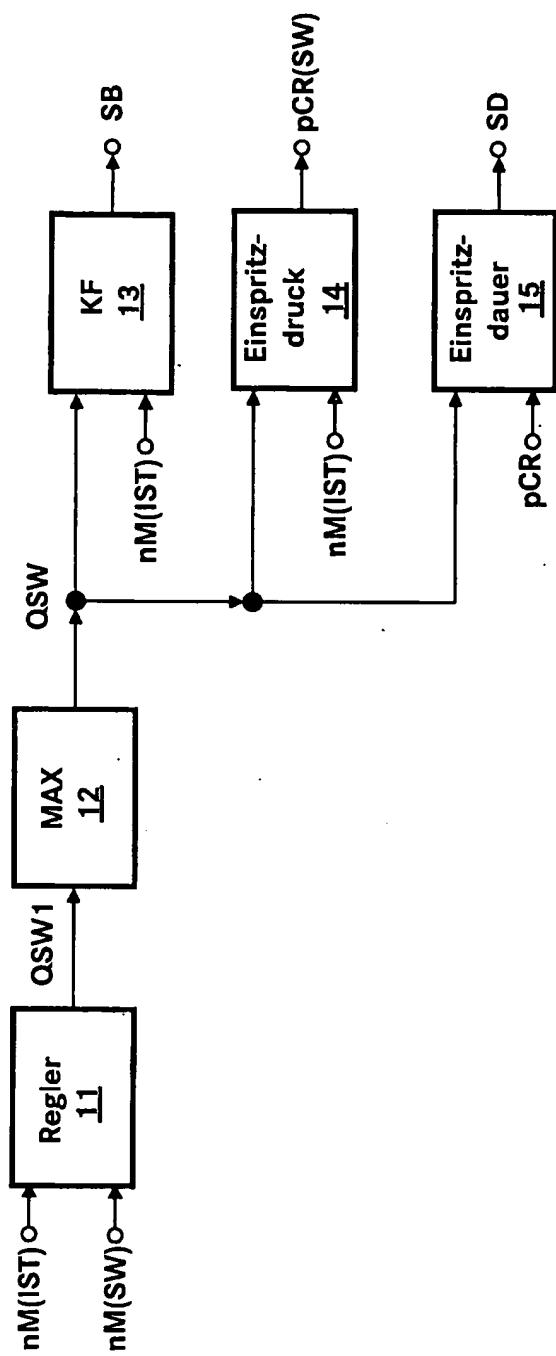


Fig. 2

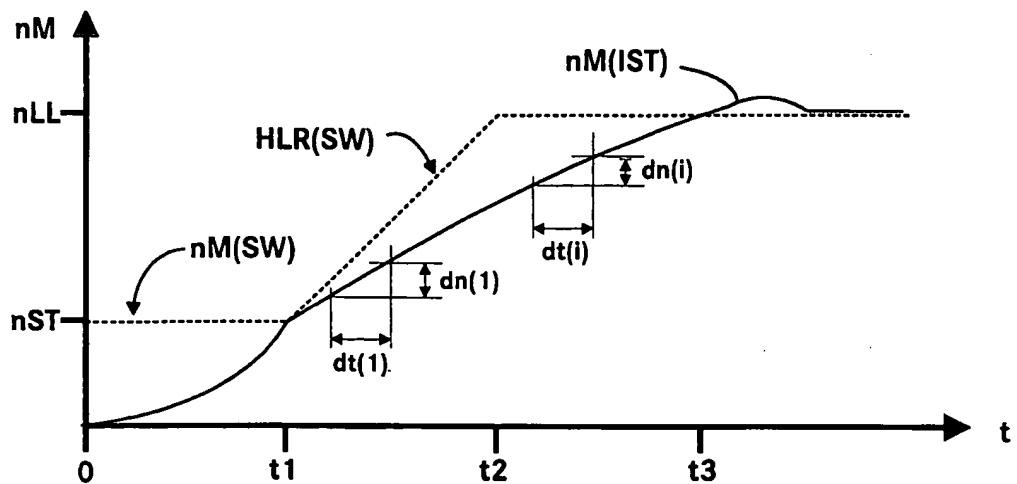


Fig. 3A

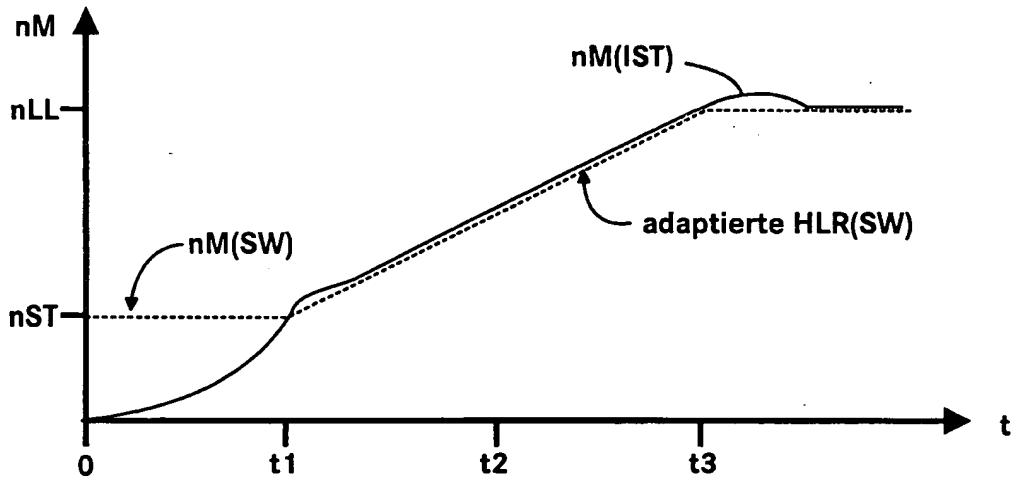


Fig. 3B

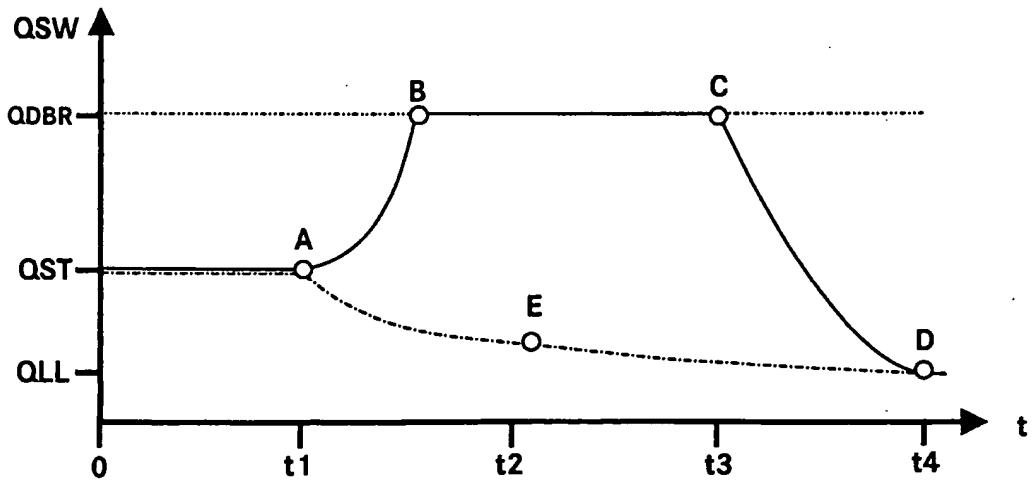


Fig. 3C

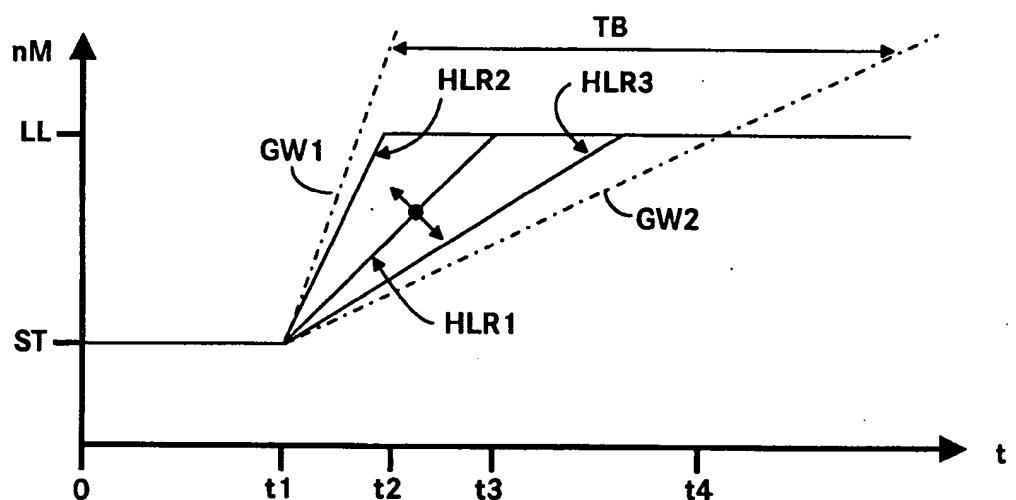


Fig. 4

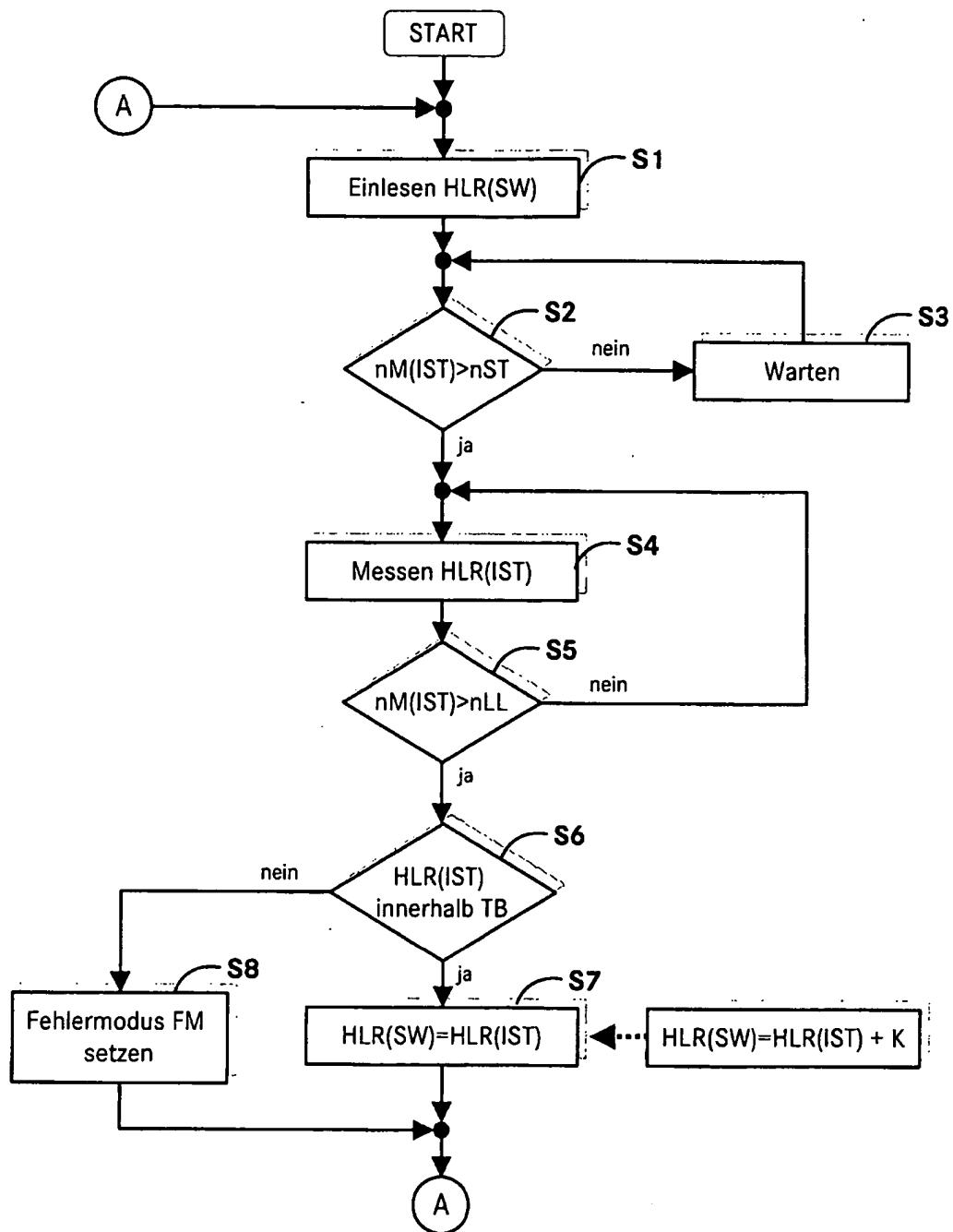


Fig. 5